

LES MACHINES-OUTILS MODULAIRES / CONCEPTION ET ASSEMBLAGE

BAVUIDINSI Nsimba Gloria

Faculté d'Ingénierie et le Management des Systèmes Technologiques, Master: Conception Intégrée des Systèmes Technologiques, Anul de studii:V, e-mail : gloriabavuidinsi@gmail.com

Coordinateur scientifique : Chef des travaux PhD. **Andra PENA**

RESUME Les machines-outils modulaires sont devenues de plus en plus utilisées dans les entreprises, usines et laboratoires de recherches pour ses avantages qualifiés dans le domaine de la production en grande série avec précision. Les différentes techniques liées à l'informatique sont restées du domaine du spécialiste. Dans le domaine de la conception et la production, nous assistons à une véritable "démocratisation", non pas simplement d'un nouvel outil qui se contente d'accroître la productivité ou de nous libérer de certaines procédures ingrates, mais d'une nouvelle technique d'avenir, qui remet en cause les méthodes de travail et demande l'acquisition de nouvelles compétences. La conception et l'assemblage de machines-outils modulaires est l'une des importantes solutions pour avoir des aboutissements de produits modernes et ce travail nous permettra de présenter une étude sur les machines-outils modulaires en général et la conception de certains éléments en ayant utilisé les logiciel de FAO/CAO (CATIA).

Mots clés : Machines-outils, modulaires, conception et assemblage, conception modulaire, logiciel de FAO/CAO

I. Introduction

De nos jours, le principe modulaire est une méthode très populaire dans la conception et l'assemblage des machines-outils et des équipements industriels. Cette tendance peut être considérée comme l'une des grandes contributions de la conception de machines-outils modulaires à ceux qui travaillent dans d'autres industries. Le prédécesseur de la conception modulaire actuelle est apparue explicitement au début des années 1930, et depuis lors, les technologies connexes ont été dûment avancées, révélant l'impact remarquable, la conception modulaire n'a pas été étudiée jusqu'à présent dans la sphère académique, mais a été développée sur la base d'une longue expérience pratique et de la méthode par essais. Dans un contexte de conception modulaire, nous devons toujours nous rappeler la proposition la plus précieuse.

Dans un contexte de conception de machines-outils modulaires, nous avons besoin à la fois de la technologie de conception et de la méthodologie de conception; cependant, la méthodologie de conception est loin d'être terminée par rapport à la technologie de

conception, par exemple, la méthode de calcul de la rigidité statique et dynamique. En fait, la méthodologie de conception peut aider à la systématisation des données de conception liées à trois des quatre principes de la conception modulaire, à savoir les principes de séparation, de standardisation et d'adaptation.

Ainsi dans ce travail, nous allons faire une étude générale sur les machines-outils modulaires et la fraiseuse modulaire CNC en particulier.

I.1. Les machines-outils modulaires

Une machine-outil modulaire est une machine qui peut être facilement transformable, grâce à de multiples possibilités de monter une ou plusieurs unités d'usinage de différents types standardisés.



Fig. 1. Machine-outil modulaire CNC

Une machine-outil modulaire comportant un bâti, au moins une unité d'usinage, une structure centrale disposée sur le bâti pour supporter plusieurs unités d'usinage, un support de pièce à usiner, et des moyens de commande pour commander ladite unité d'usinage, la structure centrale présentant au moins trois faces de référence verticales et perpendiculaires deux à deux, dont chacune est agencée pour le montage d'une unité d'usinage¹.

I.2. Etude de la conception modulaire

La conception modulaire est simple, flexible et fiable méthode de construction, qui a modernisé la production par introduction des moyens plus efficaces pour construire les produits, en particulier ceux avec de nombreuses pièces et assemblages complexes.

¹ <https://patents.google.com/patent/WO1989011375A1>

La conception structurelle doit être la synergie entre le calcul d'ingénierie et le calcul de la méthodologie de configuration. Le premier doit traiter des analyses du comportement statique, dynamique et thermique, tandis que le second doit traiter de la génération systématique et rationnelle de la configuration structurelle, de l'allocation de la fonction de déplacement, etc., aboutissant à la détermination des paramètres préférentiels ou optimaux.

La conception modulaire comme une méthodologie de conception moderne peut répondre aux changements du marché rapidement. En même temps, il est capable de raccourcir la conception du produit et le cycle de fabrication, d'améliorer la qualité et la fiabilité du produit et de faciliter le démontage et la remise à neuf du produit. Afin de réaliser la modularisation des machines-outils pour la remise à neuf, un flux de conception modulaire est proposé dans ce document. Combiné avec les caractéristiques des différentes étapes du cycle de vie du produit, les critères de démontage pour la conception modulaire de machines-outils pour le reconditionnement ont été établis à partir des aspects suivants: sélection des matériaux, performance du processus de remise à neuf, performance d'utilisation et de maintenance. . Sur la base de ces critères et d'une méthode de classification hiérarchique, une matrice de similarité a été construite pour les machines-outils et les modules de machines-outils.

La description de conception de machines-outils modulaire se concentre sur les modules structurels tels que le mandrin de broche, le support, le porte-outil, la tête rotative, le table, la colonne, et ainsi de suite. Cette approche résout le problème de conception si la fonction du à la machine-outil a déjà été déterminée.

Pour améliorer l'efficacité de la machine-outil, nous avons besoin de la détermination détaillée de sa fonction. Ensuite, pour performer une opération technologique particulière, nous ne le faisons pas sélectionner une machine-outil, mais plutôt un système d'usinage.

I.2.1. Avantages de la conception modulaire

La conception modulaire a de nombreux avantages. Elle est économique car il permet la production de pièces sûres qui trouvent leur chemin dans un marché de forte demande. Ainsi, il y a une efficacité dans la production.

Outre la réduction des coûts de développement, la conception et la fabrication ; la conception modulaire offre d'autres avantages tels que l'ajout de nouvelle solution par simplement brancher un nouveau module, des pièces réutilisables et assemblages, transparence et générativité des modules etc. Les avantages particuliers de la conception modulaire sont les normalisations des composants et des processus.

I.2.2. Conception modulaire des machines-outils

Les systèmes de fabrication modernes mènent aux changements considérables dans la façon de la conception et de la fabrication de machines-outils. Les bases de ce changement sont l'adoption de méthodes modulaires de machine-outil constructive.

Afin d'améliorer l'efficacité de fabrication, les méthodes de conception de machines-outils doivent être simples et pratique.

Dans ce contexte, il convient d'utiliser la conception modulaire de machines-outils, dans lequel la fabrication se compose de composants contrôlables. Dans l'analyse des machines-outils, un module est compris comme un ensemble d'éléments du système qui peut être utilisé de manière autonome ou en combinaison avec d'autres modules. L'utilisation du concept de conception modulaire permet au système de machine-outil d'être considéré d'un certain nombre de modules.

I.3. Conception d'une fraiseuse modulaire CNC

I.3.1. Description générale

Une fraiseuse modulaire est une machine – outil dont le déplacement se fait selon trois (3) axes,

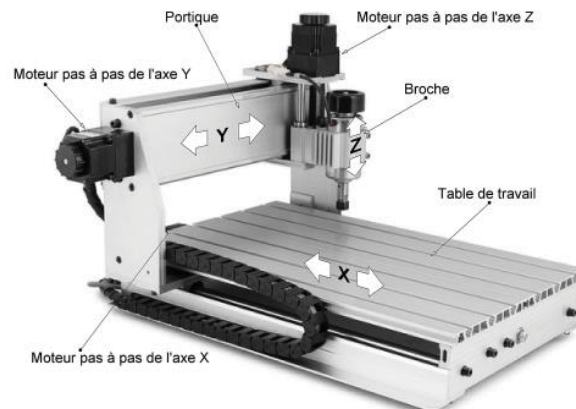


Fig. 2. Modèle de fraiseuse

Elle est composée :

- d'une broche,
- d'une table de travail,
- d'un portique,
- d'un moteur pas à pas de l'axe X, (longitudinal)
- d'un moteur pas à pas de l'axe Y, (transversal)
- d'un moteur pas à pas de l'axe Z, (vertical)
- des vis à bille.

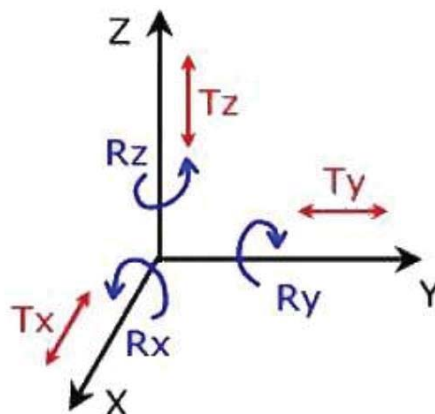


Fig. 3. Les translations axés sur X, Y, Z

Cette machine peut être équipée d'un quatrième axe que l'on fixe sur la table de travail, cet axe est nommé axe A et se compose d'un mandrin dont la rotation est assurée par un moteur pas à pas.



Fig. 4. Contre pointe et mandrin

La contre pointe est utilisée pour les pièces longues qui les maintient avec le mandrin. Ainsi, chaque partie de la machine contient des dimensions précises pour enfin d'envisager le bon fonctionnement de celle-ci.

I.3.2. Les éléments d'une fraiseuse Modulaire

1. Les vis à billes

Les axes X, Y, Z permettent le déplacement de l'outil dans six directions grâce à la rotation du vis tournant dans l'un ou l'autre sens selon la direction désirée. On obtient la transformation d'un mouvement de rotation en mouvement de translation.



Fig. 5. vis et écrou à bille

Les vis à billes sont conçues pour supporter des charges axiales uniquement². Elle est le système d'entraînement linéaire le plus précis et le plus fiable du marché. Les fraiseuses industrielles utilisent d'ailleurs uniquement des vis à bille, et on en voit de plus en plus sur les petites fraiseuses de particuliers³.

Afin d'obtenir une très grande précision dans ce mouvement lors de l'usinage, il suffit d'éliminer le jeu dans le système vis et écrou à bille.

- **Avantages et inconvénients**

- précise et fiable,
- la rotation s'effectue sans effort,
- silencieuse,
- peu d'entretien avec la graisse

² <https://www.hpceurope.com/docFichesTechniques/VisABilles.pdf>

³ <http://docplayer.fr/64483732-Fabrication-d-une-fraiseuse-numerique-cnc.html>

- par contre elle est assez chère.

2. Les vis trapézoïdales

Ces types de vis avec des écrous en bronzes sont aussi utilisés pour l'entraînement de chariot d'une machine. Ces ensembles vis et écrou comportent souvent un jeu, ce pourquoi il est nécessaire d'utiliser deux écrous.



Fig. 6. Ecrou en bronze

- **Fonctionnement**

Le ressort est comprimé entre les deux écrous et la force de compression est réglable par rotation de l'écrou flottant. Deux forces opposées sont donc appliquées, d'une part, sur l'écrou 1 et, d'autre part, sur l'écrou 2.

Le premier écrou étant fixe, la force appliquée par le ressort tend à repousser le second écrou et la vis, il en résulte que le flanc droit du filet de cette vis est plaqué contre le flanc droit du filet de l'écrou fixe tandis que son flanc gauche l'est sur le flanc gauche du filet de l'écrou flottant. Ainsi, si la vis trapézoïdale entre en rotation vers la gauche, elle agit sur l'écrou fixe qui entraîne le chariot.

Inversement, si la vis tourne dans le sens opposé, c'est l'écrou flottant qui, par l'intermédiaire du ressort appuyant sur l'écrou fixe, entraîne le chariot.

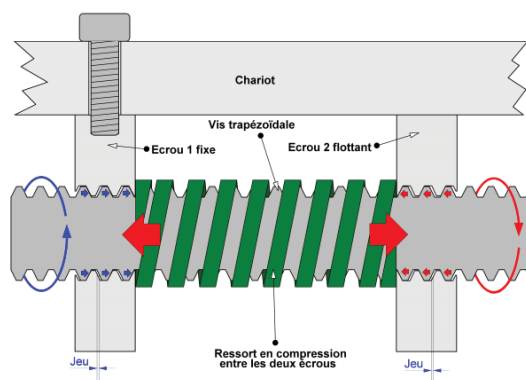


Fig. 7. Système à vis trapézoïdale à deux écrous

- **Avantages et inconvénients**

- Pas chère,

- Le système est efficace mais a de limite,
- Le jeu réapparaît lorsque l'outil de coupe est au travail,
- La rotation de la vis demande plus de puissance de la part du moteur.
- Si la compression du ressort est élevée, une plus forte usure des pièces en mouvement est à craindre. Il faut donc choisir des matériaux moins sensibles à l'usure comme le couple acier (vis)/bronze (écrou) et proscrire par exemple le couple acier/acier qui supporte mal les frottements. Un graissage important doit également être réalisé.
- L'usure de l'écrou est négligeable car le ressort rattrape le jeu automatiquement.

3. Les axes de guidages

Les axes de guidages ont pour rôles de guider et de soutenir les vis qui assurent le déplacement des chariots. Ils peuvent être en acier inoxydable trempé ou en acier trempé chromé, ayant de douille à bille qui s'insère dans le palier



Fig. 8. Palier /guidage et entraînement d'un chariot

Les axes de guidage et la vis doivent absolument être parallèles entre eux et perpendiculaires à leurs points d'attache. Les axes de guidage d'une longueur supérieure à 50 cm doivent être de diamètre suffisant afin de ne pas plier sous une charge trop importante.

I.3.3. Choix de la broche

La broche est choisie en fonction de :

- la Plage de vitesse et couple qui est la vitesse de rotation minimum à la vitesse de rotation maximum, (celle-ci est de 800-900tr/min) ;
- Solidité de roulement d'axe enfin d'éviter le jeu lors d'usinage.
- et la capacité d'outil qui est le diamètre maximum que l'on peut insérer dans le mandrin.

I.4. Calculs

Pour la sécurité de la machine et la protection de personnel, nous devons respecter quelques réglages essentiels, et cela empêchera d'endommager la machine lors de l'usinage.

1. Vitesse de coupe

La vitesse de coupe est la distance parcourue par une dent en une minute et est exprimée en mètre par minute (m/min).

Elle dépend de :

- Matière à usiner
- Type d'opération,
- L'outil,
- L'état de l'espace souhaité

2. Vitesse de coupe en fonction de matériaux

Elle dépend à la fois de la matière à usiner et de la matière de l'outil.

Tableau 1. Vitesse de coupe en fonction des matériaux

Fraisage de face	Outils A.R.S			Outil carbure	
	Vc		Fz	Vc	Fz
	Ebauche	Finition			
Aciers Rm ≤ 70 hbar	22	26	0,15	90	0,2
Aciers Rm de 70 à 100 hbar	18	22	0,12	70	0,2
Aciers Rm de 100 à 120 hbar	16	20	0,1	60	0,15
Fonte Ft 20	22	26	0,15	70	0,25
Fonte GS	16	20	0,12	60	0,2
Laiton	60	80	0,1	220	0,3
Bronze	40	55	0,1	180	0,2
Alliage d'aluminium	100	140	0,1	250	0,2

3. Mouvement de coupe circulaire

Le mouvement de coupe est la fréquence de rotation qui est en tour par minute.

$$n = \frac{Vc * 1000}{\pi * de} \quad (1)$$

Vc : vitesse de coupe (m/min)

n : fréquence de rotation (tr/min)

π : constante : 3,14159

de : diamètre de l'outil pour le fraisage et diamètre de la pièce de révolution pour le tournage (mm)

4. Vitesse d'avance

$$Vf = f.Z.N$$

- V_f : vitesse d'avance (mm/mn)
- f : avance par dent (mm/dent)
- Z : nombre de dents
- N : fréquence de rotation (tr/min)

I.5. Conception du profilé avec le logiciel CATIA V5R21

Tout d'abord, nous connaissons que CATIA (Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée) est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) créée par la société Dassault Aviation pour ses propres besoins sous le nom de CATI⁴. Et ce logiciel nous aide à modéliser les différentes parties d'une machine-outil.

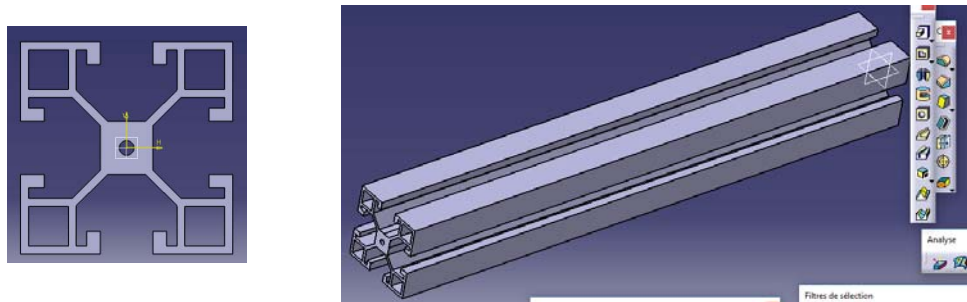


Fig. 9. Conception d'un profilé

Dans un premier lieu, nous avons conçu un profilé en aluminium qui va nous servir de support sur une machine, avec ses différentes dimensions précises non mentionnées dans ce travail car sa longueur peut être découpée pour un assemblage exact.

I.6. Conclusion

Nous voici au terme de notre travail qui a pour sujet « les machines-outils modulaires ». Avant de faire une conception et un assemblage de machines-outils modulaires, nous sommes obligés de connaître une description générale et les fonctionnalités de celles-ci. C'est pourquoi dans cette partie de notre travail, nous nous sommes limités sur l'étude de machines-outils modulaire.

Ainsi, nous avons vu la conception modulaire, la description de machine-outil modulaire en général et la fraiseuse modulaire en particulier pour une étude précise, ce qui nous a permis de bien comprendre quelques différents éléments essentiels à prendre en compte lors de la conception et l'assemblage pour bien gérer la production lors d'usinage.

⁴ <https://fr.wikipedia.org/wiki/CATIA>

Nous avons fait une analyse sur les mécanismes de vis et écrou à bille, et la vis trapézoïdale. La maîtrise de ces mécanismes permettra de concevoir une machine-outil conforme. Nous avons proposé sur le choix de la broche et la manière dont il faut déterminer la vitesse de coupe et d'avance enfin de sécuriser la production.

Ainsi, ce travail qui s'ajoute aux nombreux travaux réalisés par nos prédécesseurs ne prétend pas épuiser la problématique sur les machines-outils modulaires. Le champ reste ouvert à d'autres chercheurs pour approfondir davantage ce thème.

Bibliographie

1. Star, M.K.: Modular production - A new concept, Harvard Business Review, Vol.43, No.6, 1965
2. Ito, Y.: Modular design for machine tools, McGraw-Hill, New York, 2008.
3. Koenigsberger, F.: Advanced in machine tool design and research, Pergamon Press, Oxford, 1968.
4. Bazrov, B.M.: Modular design of machine tools, Russian Engineering Research, Vol.31, No.11, 2011.

Webographique

5. <https://patents.google.com/patent/WO1989011375A1>
6. <https://www.hpceurope.com/docFichesTechniques/VisABilles.pdf>
7. <http://docplayer.fr/64483732-Fabrication-d-une-fraiseuse-numerique-cnc.html>
8. <https://fr.wikipedia.org/wiki/CATIA>
9. <http://docplayer.fr/64483732-Fabrication-d-une-fraiseuse-numerique-cnc.html>